

STRATEGI OPTIMISASI TOLERANSI GEOMETRIS UNTUK KOMPONEN CYLINDER HEAD COVER PADA PENELITIAN DAN PEMBUATAN KOMPONEN MOTOR BAKAR

GEOMETRIC TOLERANCE OPTIMIZATION STRATEGY FOR COMPONENT CYLINDER HEAD COVER IN RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ENGINE COMPONENTS

Pujiyanto dan Shinta Virdhian

Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian

Jl. Sangkuriang No.12, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

e-mail: *shinta_va@yahoo.com*

diajukan: 03/02/2014, direvisi: 28/03/2014, disetujui: 14/04/2014

ABSTRACT

Before the manufacturing process, the design process was carried out include all things that affect the process of manufacturing, measurement, assembly and functioning of components. The design phase covers a process of collecting data and information, geometry and material data acquisition, virtual 3-dimensional modeling, structural analysis and simulation of manufacturing, and production of shop drawings. The shop drawings are produced after going through the series of analysis, such as the validation process of structural analysis and simulation of manufacturing, manufacturability analysis, measurable, assembly / interchangeability. Geometry Dimensioning and Tolerance (GD & T) is an international engineering drawing system that offers a practical method for determining 3-D design dimensions and tolerances on engineering drawings, based on the graphic language universally accepted, as published in national and international standards. With this principle, ambiguous information of the image can be eliminated to the maximum by manufacturability, measurable, assembly/interchangeability, and functioning of the components. This paper discusses the geometric tolerance optimization strategy between the cylinder head cover to the cylinder head in the form of assembly ability between the pattern and pinholes.

Keywords: *GD&T Interchangeability, , Geometry Tolerance Optimization*

ABSTRAK

Sebelum dilakukan proses manufaktur dilakukan proses desain yang meliputi semua hal yang mempengaruhi proses pembuatan, pengukuran, perakitan dan keberfungsian dari komponen. Dalam tahapan proses desain, dilakukan proses pengumpulan data dan informasi data geometri dan material, pembuatan model virtual 3 dimensi, analisa keterbuatan, keterukuran, keberfungsian, analisa struktur dan simulasi manufaktur, dan produksi gambar kerja. Dalam membuat gambar kerja, setelah melalui proses validasi dari analisa struktur dan simulasi manufaktur, dilakukan analisa keterbuatan, keterukuran, keterakitan/ketertukaran. Geometry Dimensioning and tolerancing (GD&T) adalah sistem gambar teknik internasional yang menawarkan metode praktis untuk menentukan dimensi desain 3-D dan toleransi pada gambar teknik, berdasarkan pada bahasa grafis diterima secara universal, seperti dimuat dalam standar nasional dan internasional. Dengan prinsip ini, keambiguan informasi dari gambar dapat dieliminir secara maksimal demi keterbuatan, keterukuran, keterakitan / ketertukaran, dan keberfungsian dari komponen. Tulisan ini membahas strategi optimasi toleransi geometrik antara cylinder head cover dengan cylinder head yang berupa keterakitan antar pola lubang dan pin.

Kata Kunci: GD&T, Ketertukaran, Optimisasi Toleransi Geometri

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara dengan wilayah dan jumlah penduduk yang besar. Wilayah kita terdiri atas daratan dan lautan yang dihuni oleh ratusan juta penduduk. Wilayah yang luas ini menjadi

potensi kekayaan yang luar biasa bagi negara dan masyarakat, sehingga harus ada pemanfaatan yang baik bagi pemenuhan kebutuhan manusia yang tinggal didalamnya. Dengan jumlah penduduk yang besar, eksplorasi dan pemanfaatan kekayaan yang ada tidak

mungkin dilakukan secara tradisional, sehingga harus dilakukan secara progresif. Hal ini disebabkan oleh tuntutan pemenuhan kebutuhan yang semakin cepat dan butuh inovasi agar sesuai dengan perkembangan jaman. Kebutuhan yang mencakup kebutuhan pokok dan kebutuhan lainnya harus dapat dipenuhi dengan berbagai cara, baik yang masih tradisional maupun telah menggunakan bantuan teknologi yang baik.

Dalam pemenuhan kebutuhan penduduk yang banyak ini diperlukan teknologi yang mampu membuat produk secara massal. Salah satu fokus kegiatan penelitian dan pengembangan di Balai Besar Logam dan Mesin adalah pada penelitian dan pembuatan komponen motor bakar. Motor bakar adalah mesin atau pesawat yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik yaitu dengan cara mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas dan menggunakan energi tersebut menjadi kerja mekanik (gerak). Kebutuhan motor bakar sebagai penggerak mula sangat dibutuhkan oleh masyarakat Indonesia. Pengembangan dari motor bakar dapat dipergunakan komponen utama dalam menggerakkan kendaraan bermotor, kapal laut, alat industri, kebutuhan rumah tangga, penggerak pompa, industri listrik, dan sebagainya.

Permasalahan dalam pengembangan motor bakar di Indonesia adalah kurangnya penguasaan teknologi desain untuk produksi massal, sehingga komponen yang dibuat tidak memiliki mampu tukar. Sehingga komponen yang dibuat hanya bisa dipasang pada satu sistem tetapi belum tentu dapat dirakit dengan komponen yang lain. Untuk itu, penguasaan teknologi produksi massal menjadi tujuan utama dari kegiatan penelitian dan pengembangan ini. Melalui penguasaan teknik desain produksi massal yang menjamin keterbuatan, keterukuran, keterakitan/ ketertukuran, keberfungsian dari komponen, dan teknologi proses manufaktur, diharapkan ketergantungan terhadap teknologi asing dapat dikurangi secara bertahap.

Dalam pelaksanaannya, penelitian dan pengembangan dilakukan secara

bertahap dan disesuaikan dengan kemampuan sumber daya yang ada. Penelitian dan pengembangan ini dilakukan pada salah satu komponen motor bakar, yaitu *cylinder head cover* sebagai studi kasus. Tujuan dari penelitian dan pengembangan ini adalah membuat prototip produksi massal dari komponen *cylinder head cover*. Tulisan ini akan membahas salah satu tahapan dalam penelitian dan pengembangan ini yaitu optimasi toleransi geometrik dari *cylinder head cover*. Tujuan dari tahapan optimasi toleransi geometrik ini adalah untuk memperoleh data geometrik perpasangan antara *cylinder head cover* dengan *cylinder head* yang berupa keterakitan antar pola lubang dan pin.

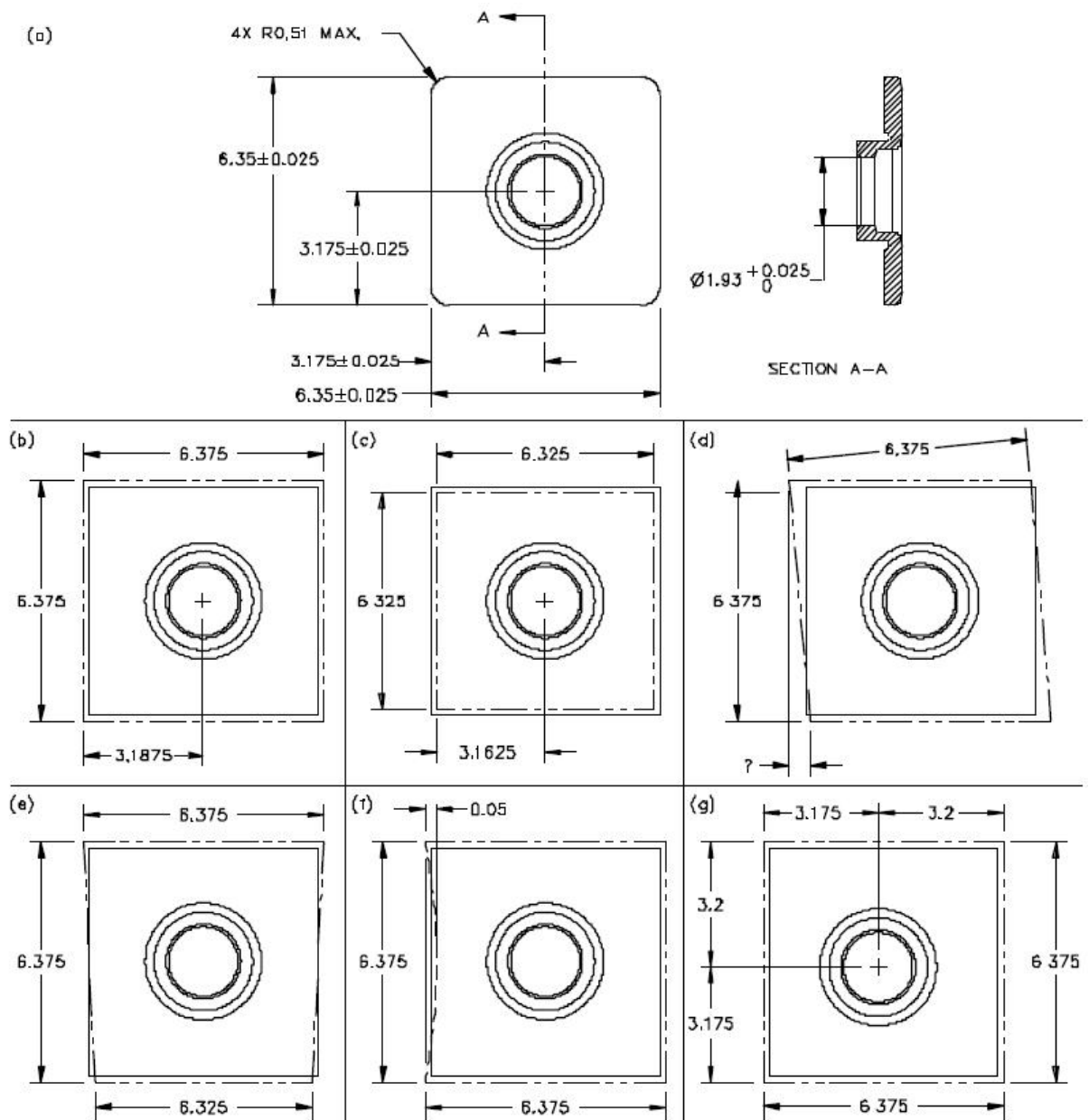
Sebelum dilakukan proses manufaktur dilakukan desain proses yang meliputi semua hal yang mempengaruhi proses manufaktur, perakitan dan keberfungsian dari komponen seperti geometri, material, parameter dalam proses manufaktur dan lain lain. Dalam tahapan desain, dilakukan proses pengumpulan data dan informasi, pengambilan data geometri dan material, pembuatan model virtual 3 dimensi, analisa struktur dan simulasi manufaktur, dan produksi gambar kerja. Dalam membuat gambar kerja, setelah melalui proses validasi dari analisa struktur dan simulasi manufaktur, dilakukan analisa keterbuatan, keterukuran, keterakitan/ketertukuran dan keberfungsian dari komponen *cylinder head cover*. Hasil dari analisa ini menjadi bank data yang dipergunakan desainer dalam membuat / memproduksi gambar kerja (shop drawing) yang berprinsip pada pembuatan dimensi dan toleransi secara geometrik (geometry dimensioning and tolerancing / GD&T). Dengan prinsip ini, keambiguan informasi dari gambar dapat dieliminir secara maksimal demi keterbuatan, keterukuran, keterakitan/ ketertukuran, dan keberfungsian dari komponen. Dalam membuat gambar kerja, desainer ingin gambar kerja yang ia buat dapat dikerjakan pada suatu tahapan manufaktur, misalnya proses permesinan.

Hasil dari proses permesinan ini diharapkan dapat dirakit dengan nyaman pada pasangannya. Namun karena gambar yang ia buat itu mengandung informasi yang berakibat multi tafsir, sehingga produk yang

dihasilkan dari suatu proses manufaktur tidak sesuai yang diharapkan desainer tersebut. Dampak lanjutannya adalah keberfungsian dari produk yang dihasilkan menjadi besar variabilitasnya. Hal ini sangat tidak diinginkan oleh desainer. Ia ingin jangkauan varibel yang diijinkan adalah terkendali pada jangkauan tertentu.

Berdasarkan data dan informasi yang berhasil dikumpulkan oleh timpenelitian dan pengembangan BBLM

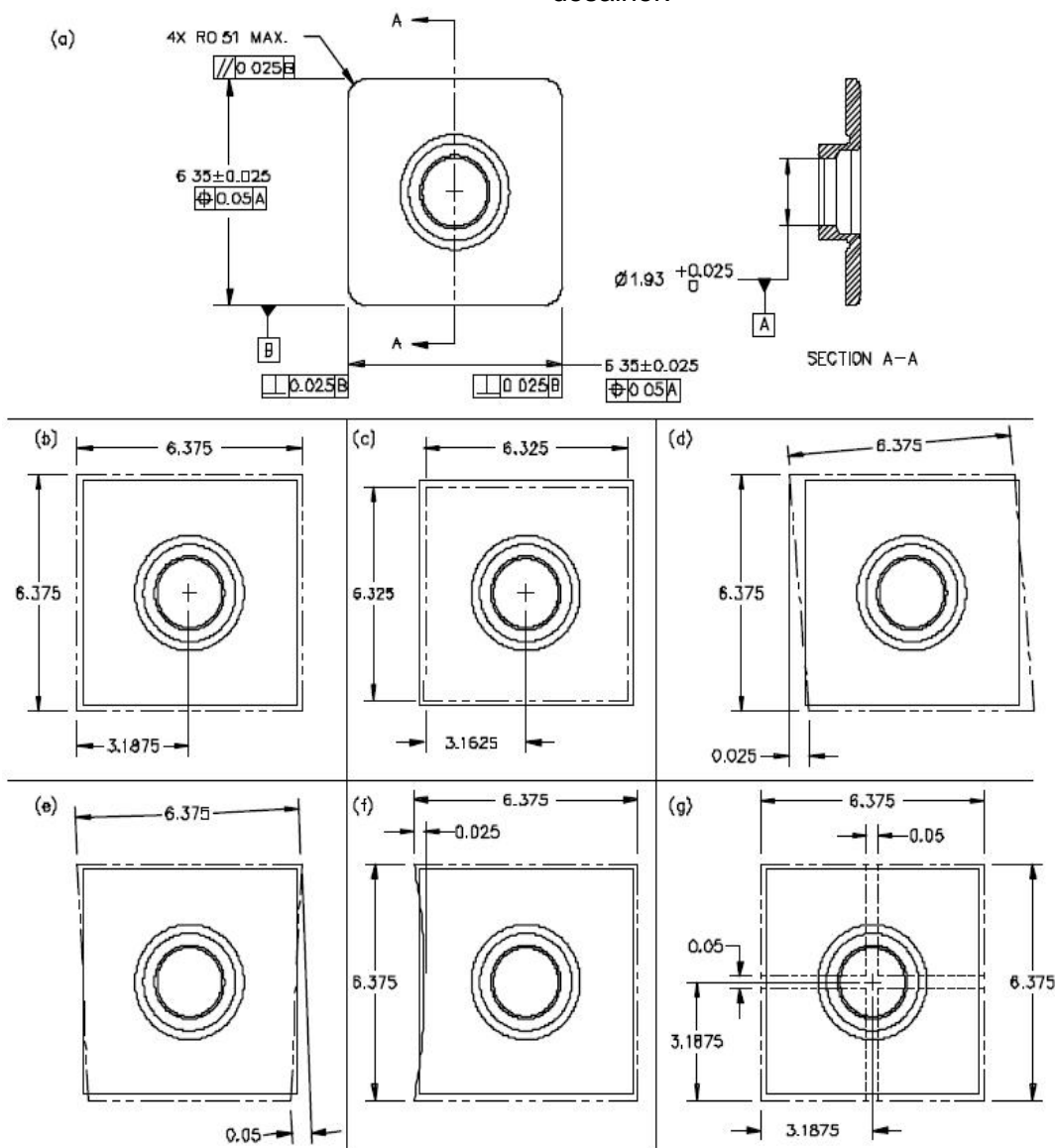
pada industri lokal di Indonesia, sebagian besar gambar kerja yang dibuat berpotensi multi tafsir yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh belum dipelajari dan diterapkannya pembuatan gambar kerja dengan prinsip GD&T, baik itu di dunia industri lokal maupun sebagian besar perguruan tinggi teknik di Indonesia. Berikut adalah beberapa contoh gambar kerja yang umumnya diterapkan pada industri lokal, sekolah kejuruan, dan perguruan tinggi di Indonesia.



Gambar 1. Contoh pembuatan gambar kerja dengan metode dimensi linear dan toleransi batas.

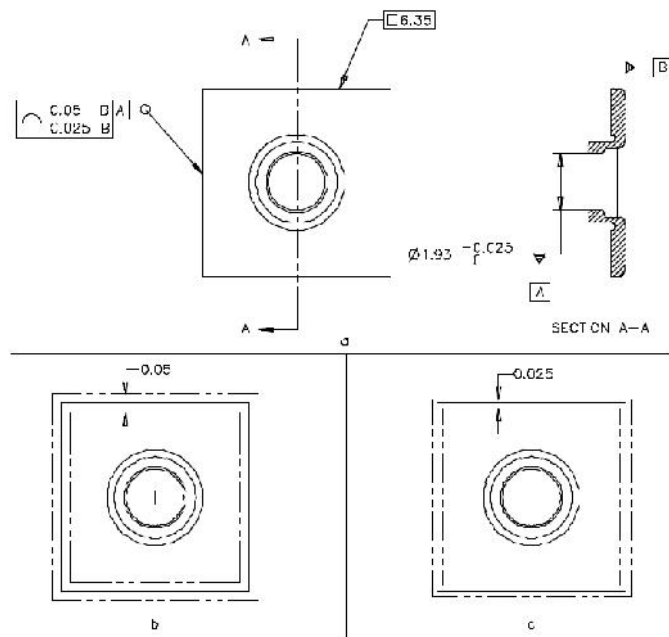
Gambar 1 merupakan gambar kerja dari produk flens (flange). Disini, desainer menginginkan gambar ini dibuat pada proses permesinan, kemudian diukur, dan akhirnya dirakit (assembling). Setelah dibuat, kemungkinan produk yang dihasilkan adalah Gambar 1.a hingga 1.g. Dari sisi proses inspeksi geometri, semua produk itu dapat diterima, karena dari hasil ukurnya masih dalam batas toleransi yang diijinkan. Namun dari sisi proses perakitan, produk itu tidak diinginkan oleh desainer. Hal ini dikarenakan pada saat silinder dari flens ini dipasangkan pada pasangan

silinder yang lain, tepi badan flens itu terlihat tidak rapih. Gambar garis putus-putus merupakan produk riil dari hasil permesinan, sedangkan gambar garis kontinyu adalah produk yang ingin dihasilkan pada proses pembuatan. Kemudian dari cara pandang desainer yang lain dalam membuat gambar adalah seperti pada Gambar 2. Mirip yang terjadi pada Gambar 1, Gambar 2 masih berpotensi multi tafsir. Antara desainer, operator mesin, inspektor, dan proses perakitan masih dalam cara pandang yang tidak sama. Sehingga produk yang dihasilkan masih belum memuaskan desainer.



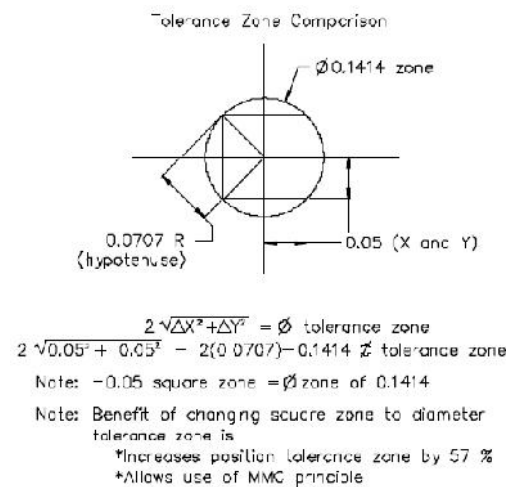
Gambar 2. Contoh pembuatan gambar kerja dengan metode dimensi linear dan geometris serta toleransi batas geometris.

Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan gambar yang benar-benar dipahami secara sama antara desainer, operator mesin, inspektor, dan proses perakitan, seperti pada Gambar 3. Dengan metode dimensi linear (plus / minus), daerah penerimaan dari variabel yang dihasilkan dari proses permesinan berupa bidang persegi. Padahal dengan metode geometris, daerah penerimaan berupa lingkaran seperti digambarkan pada



Gambar 3 Contoh pembuatan gambar kerja dengan metode dimensi geometris dan toleransi batas secara utuh

Gambar 4. Artinya, ada potensi optimasi daerah penerimaan yang dihasilkan. Awalnya produk yang dihasilkan pada produk yang mengacu pada strategi dimensi linear tidak diterima oleh inspektor, padahal produk itu sebagian masih dapat dirakit. Dengan kasus ini perlu ada strategi yang mampu menjawab kasus ini, yaitu strategi membuat gambar kerja dengan prinsip GD&T.



Gambar 4. Perbandingan zona toleransi plus/ minus dibandingkan dengan diametral

METODE

Dalam penelitian ini cylinder head cover dipilih sebagai contoh kasus optimasi toleransi geometrik yang kemudian akan dianalisa keterakitannya dengan komponen cylinder head. Hipotesis utama adalah bahwa strategi dimensi dan toleransi geometris jauh lebih unggul dalam menjelaskan maksud dari desain, serta memungkinkan daerah penerimaan terbesar dari toleransi. Definisi geometris hanya dapat memiliki satu interpretasi teknis yang jelas. Jika ada lebih dari satu interpretasi persyaratan teknis, dapat menyebabkan masalah tidak hanya di tingkat desain, tetapi juga melalui manufaktur dan kualitas. Masalah ini tidak hanya menambah

kebingungan dalam sebuah organisasi, tetapi juga buruk mempengaruhi pemasok dan basis pelanggan. Walaupun begitu, pemanfaatan dimensi geometris dan toleransi tidak akan selalu membuat jelas gambar, karena apabila bahasa tidak digunakan dengan benar dapat disalahpahami dan dapat mencerminkan maksud desain yang kurang sesuai.

Dalam tulisan ini akan membahas pemberian toleransi geometri pada fitur-fitur yang berpasangan antara prosuk cylinder head cover dengan cylinder head dan mensimulasikan posisi pin dari cylinder head dan lubang pada cylinder head cover sehingga dapat dianalisa keterakitannya. Pemberian toleransi pada fitur-fitur produk cylinder head cover dilakukan dengan

berbagi pendekatan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu meliputi:

1. Strategi dimensi dan toleransi linear.
2. Strategi toleransi pada kondisi *regardless feature size* (RFS).
3. Strategi toleransi Geometric pada kondisi material maksimum/ MMC.
4. Strategi optimasi toleransi.

Cylinder head cover dan cylinder head memiliki bidang yang saling bertemu dimana bidang pada cylinder head cover memiliki empat lubang dan bidang pada cylinder head memiliki empat pin. Maksud dari desain (design intent) dari dua bidang ini adalah dalam ukuran dan lokasi toleransi yang akan memungkinkan mereka untuk cocok bersama-sama, dengan kondisi terburuk tidak ada yang lebih ketat dari "line-to-line" fit. Dengan kata lain, hubungan antara lubang dengan ke tepi luar dari pin sangat penting.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Strategi dimensi dan toleransi linear

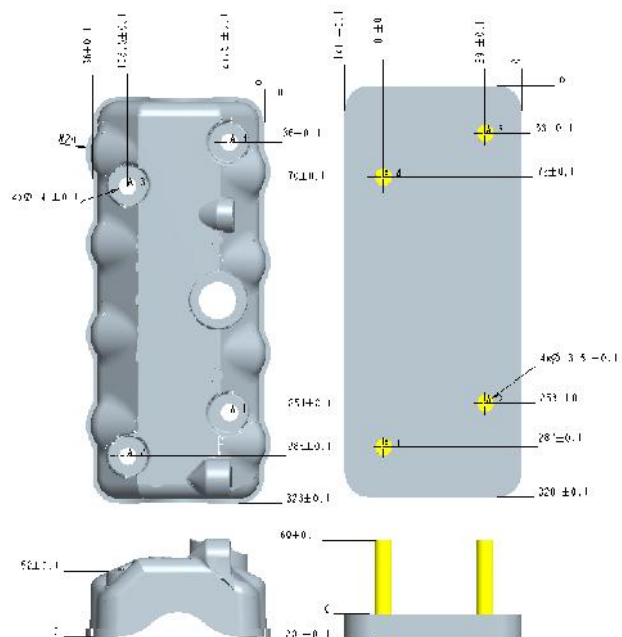
Gambar 5 menunjukkan cara penyajian gambar kerja dengan memberikan toleransi secara linier. Strategi semacam ini secara umum dipergunakan pada dunia industri lokal, sekolah kejuruan, dan bahkan perguruan tinggi. Jika diperhatikan sekilas, tidak terlihat kegagalan yang ada dengan cara pemberian dimensi dan toleransi secara linier ini. Untuk melihat akibat dari tata cara pemberian dimensi dan toleransi secara linier, setidaknya dapat dilakukan simulasi dengan membuat sketsa. Gambar 6 menunjukkan sketsa worst case dari strategi dimensi dan toleransi linear. Kita dapat mengambil simulasi pada kondisi paling ekstrim yaitu kondisi terburuk (worst case) dengan mengambil nilai toleransi maksimum pada salah satu komponen dan minimum pada komponen yang lain. Dalam simulasi ini, cylinder head cover disimulasikan dalam kondisi toleransi minimum sedangkan gauge cylinder head dalam kondisi toleransi maksimum.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa pada kondisi toleransi ukuran cylinder head cover (garis warna merah) pada kondisi toleransi minimum berpasangan dengan cylinder

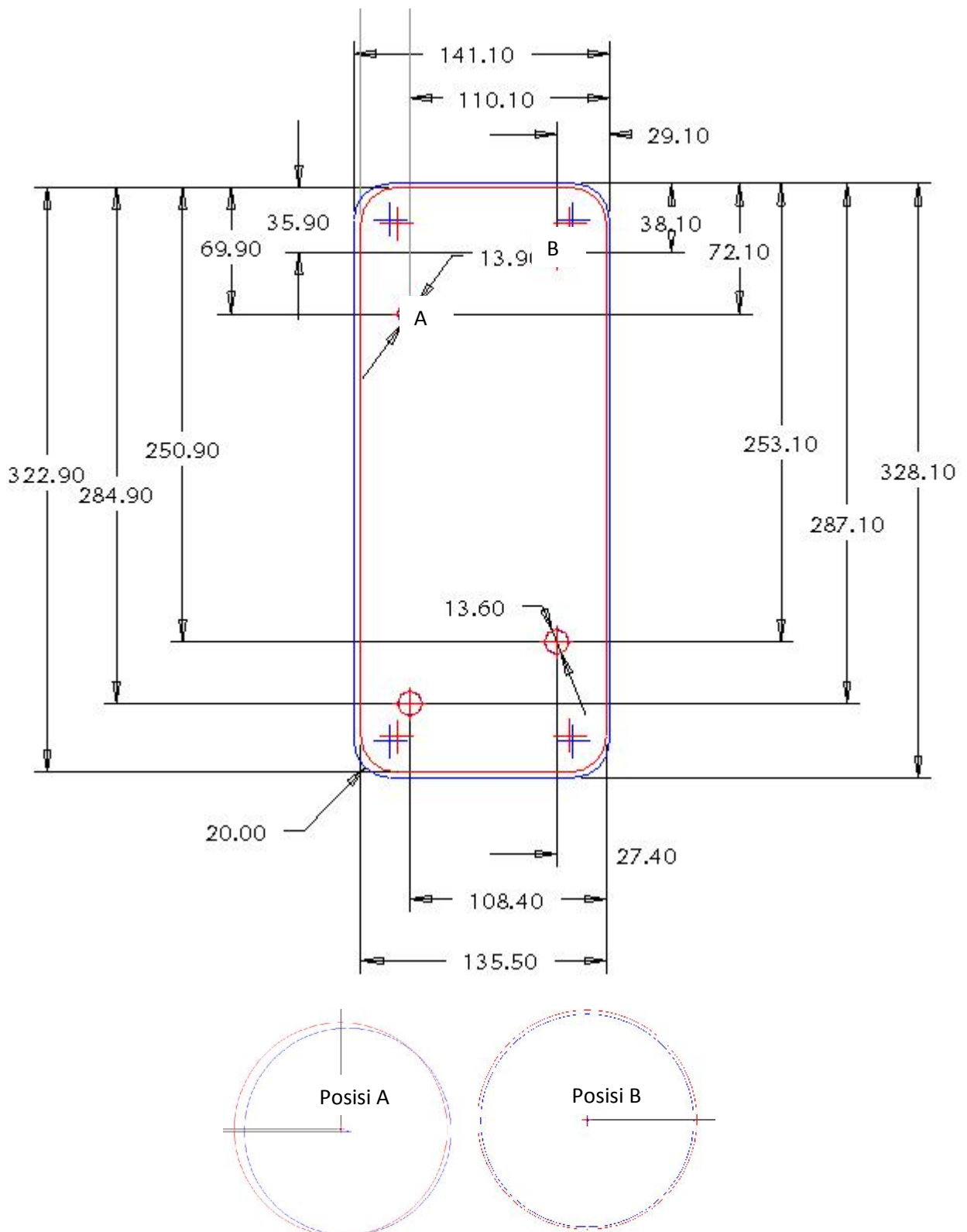
head (garis warna biru) pada toleransi maksimum maka dapat dipastikan bahwa benda ini tidak dapat dirakit, karena garis biru berada diatas (berpotongan) dengan garis warna merah. Daerah jangkauan penerimaan dari kedua komponen ini jauh dibawah toleransi maksimum/minimum. Ini artinya bahwa, tidak semua hasil inspeksi geometri yang dilakukan inspektor dengan spesifikasi baik selalu akan dapat dipasang pada komponen pasangannya.

Dengan cara simulasi secara sketsa (menggunakan program aplikasi CAD / Computerized Aided Design), dengan penggambaran pada skala 1 : 1 (satu berbanding satu) pada kemungkinan ditemukannya sampel produk pada berbagai kondisi diterima (dinyatakan diterima oleh inspektor), daerah geometri yang yang dapat dipasangkan (dirakit) terangkum pada Gambar 7.

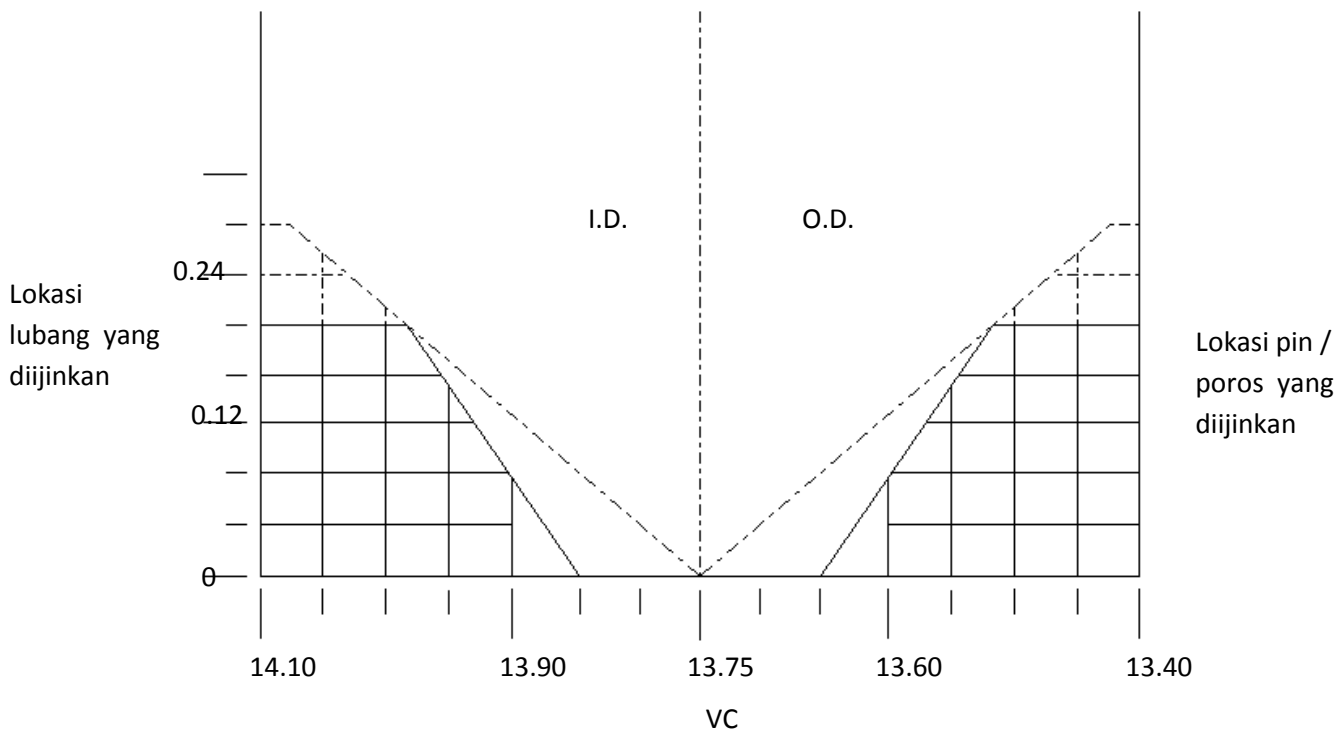
Gambar 7 menunjukkan kondisi daerah keterterimaan perpasangan antara kedua perpasangan komponen tersebut.



Gambar 5. Gambar cylinder head cover (kiri) dan simulator gauge cylinder head (kanan) dengan pencantuman dimensi dan toleransi secara linier.



Gambar 6.a. Kondisi terpasang 2 komponen pada komponen cylinder head cover pada kondisi toleransi minimum berpasangan dengan simulator gauge cylinder head pada kondisi toleransi maksimum. b. Pembesaran kondisi lubang sebelah kiri. c. Pembesaran kondisi lubang sebelah kanan

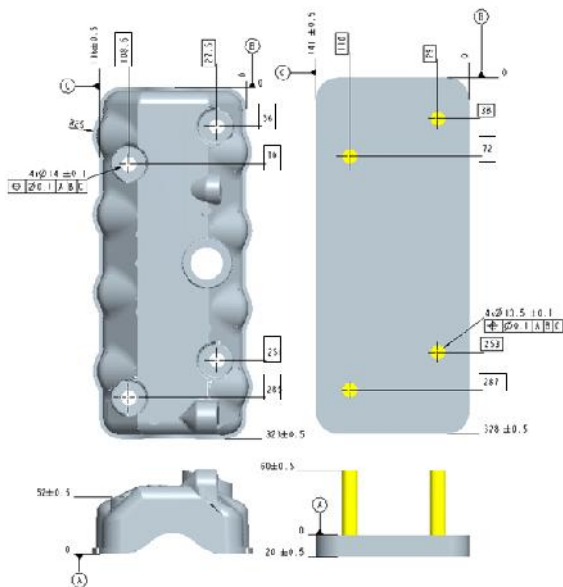


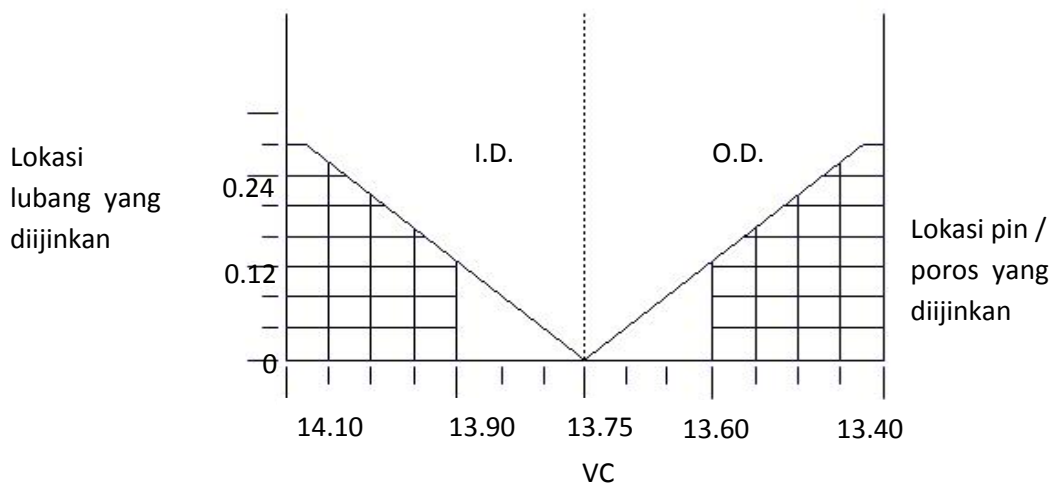
Gambar 7. Grafik Toleransi tumpukan (toleransi linear)

Strategi geometri toleransi ukuran fitur (regardless feature size/RFS).

Gambar 8 menunjukkan cara penyajian gambar kerja dengan memberikan toleransi ukuran fitur /RFS. Dibandingkan dengan kasus pertama, kasus yang kedua ini memiliki toleransi ukuran nominal yang sama, tetapi pada cara penyajian gambar secara linier menggunakan toleransi plus minus sedangkan pada cara RFS menggunakan ukuran dasar. Nilai toleransi linear posisi dari lubang ± 0.5 diganti dengan ± 0.1 A B C, yang maksudnya Lubang-lubang 14mm (atau 13.5mm pin) harus diposisikan dalam toleransi silinder sebesar 0.1mm, terlepas dari ukuran fitur mereka dalam batas bawah ataupun batas atas, dalam hubungannya dengan datum primer A, datum sekunder B, dan datum tersier C.

Dengan cara yang sama dengan gambar 7, dengan mengubah diameter lubang pada ukuran nominal (diameter 14 mm) dan diameter pin / poros pada ukuran nominal (diameter 13.5 mm), daerah keterterimaan secara mampu rakit ditunjukkan pada gambar 9.



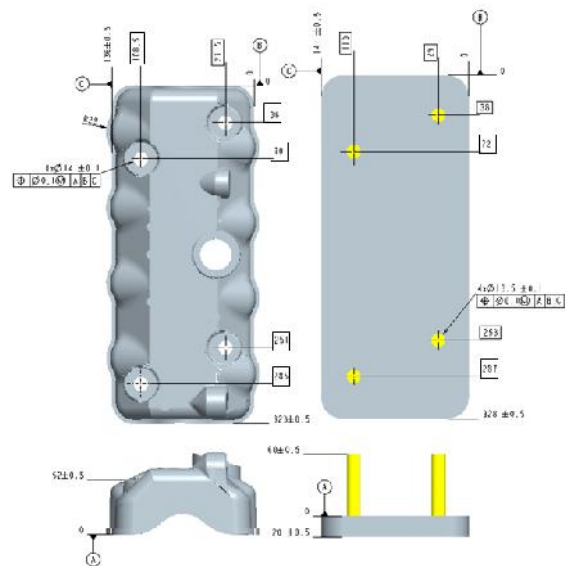


Gambar 9. Grafik Toleransi tumpukan (posisi pada RFS)

Strategi toleransi geometrik pada kondisi material maksimum / MMC

Gambar 10 menunjukkan semua toleransi identik dengan Gambar 8. Satu-satunya perbedaan adalah dari fitur kondisi ukuran dicatat dalam fitur bingkai kontrol berubah menjadi kondisi material maksimum (huruf M pada kotak toleransi). Lubang-lubang 14 mm (atau 13.5mm pin) yang diposisikan dalam toleransi silinder sebesar 0.1mm, pada kondisi material maksimum (MMC), dalam hubungan dengan datum utama A, datum sekunder B, dan datum tersier C. Apabila ukuran fitur tidak dalam kondisi material maksimum, maka toleransinya diberikan tambahan sesuai perbedaannya dengan kondisi material maksimum (toleransi bonus).

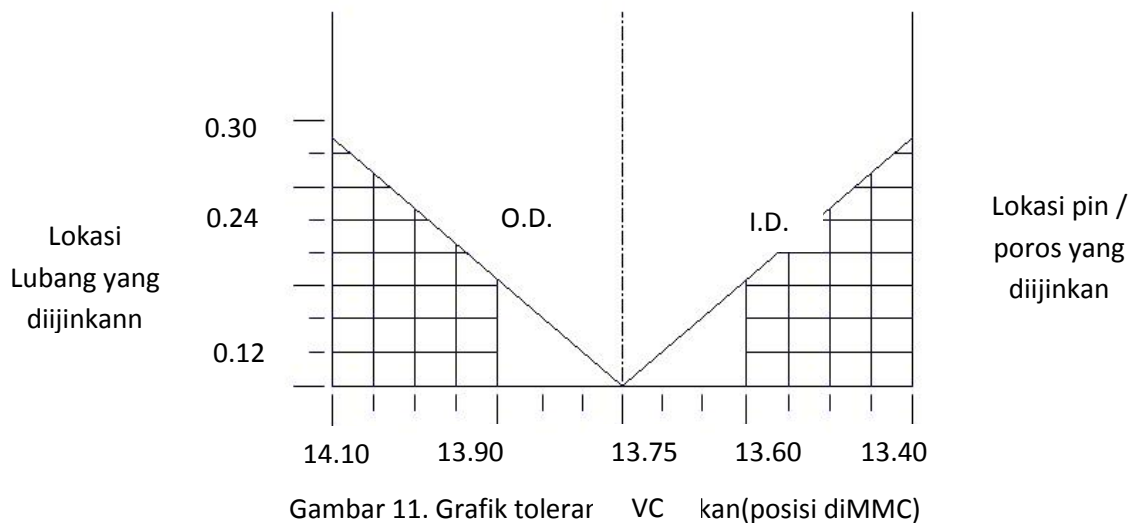
Dengan cara simulasi yang sama dengan Gambar 7, dengan mengubah ukuran posisi pada ukuran dasarnya (ditunjukkan dengan ukuran didalam kotak), daerah keterterimaan secara mampu rakit ditunjukkan pada gambar 10. Tabel 1 menunjukkan toleransi yang didapatkan sebagai fitur ukuran pada pergeseran MMC.



Gambar 10. Gambar cylinder head cover (kiri) dan simulator gauge cylinder head (kanan) dengan pencantuman dimensi dan toleransi kondisi material maksimum (MMC).

Tabel 1. Toleransi bonus yang didapatkan sebagai fitur ukuran pada pergeseran dari MMC

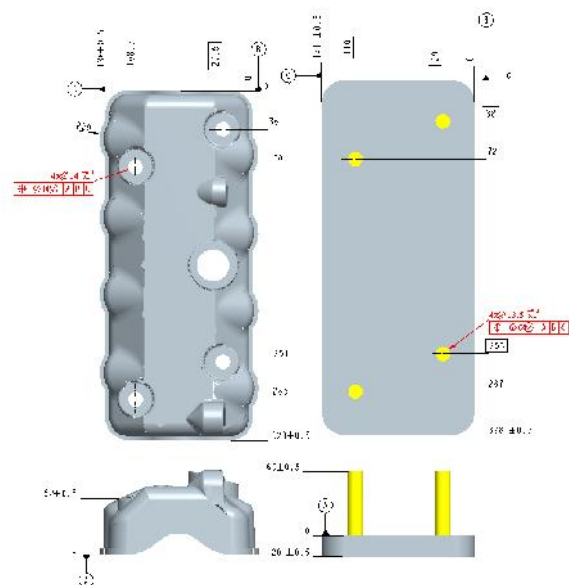
Ukuran Fitur	Pergeseran (displacement) dari MMC	Toleransi posisi yang diijinkan
13.90	0.00	0.13
13.95	0.05	0.17
14.00	0.10	0.215
14.05	0.15	0.255
14.10	0.20	0.30

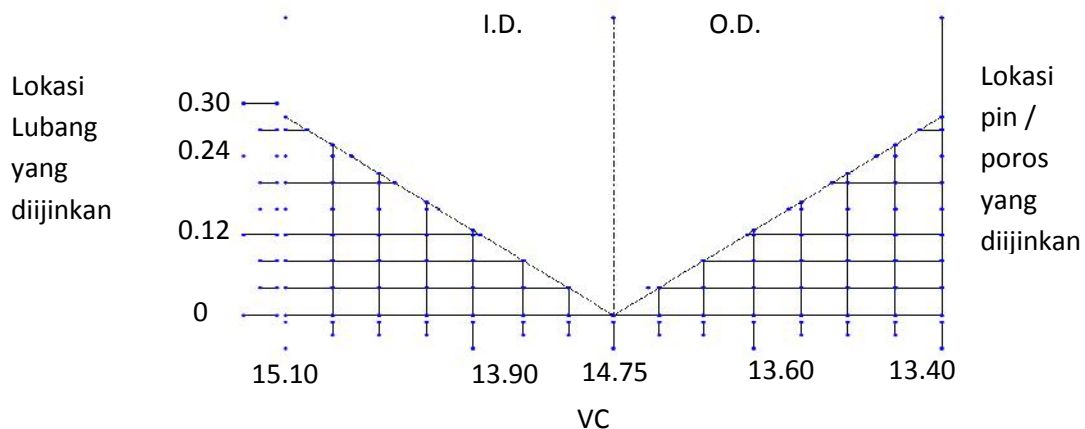


Strategi toleransi pengoptimalankondisi material maksimum

Strategi toleransi ini merupakan perpanjangan dari konsep yang ditunjukkan pada Gambar 11 yang memungkinkan bonus toleransi untuk toleransi lokasional yang bisa diperoleh sebagai fitur berangkat dari kondisi material maksimum. Dengan cara yang sama, fungsi bagian ini memungkinkan fleksibilitas untuk juga menambahkan toleransi ke arah ukuran. Dalam hal ini, ketika toleransi kurang lokasional digunakan, toleransi yang lebih tersedia untuk ukuran. Frame fitur kontrol sekarang berbunyi sebagai berikut: Lubang-lubang 14 mm (atau 13.5mm pin) harus diposisikan dalam toleransi silinder"0" (nol) pada kondisi material maksimum dalam hubungan datum primer A, datum sekunder B, dan datum tersier Cprimer.

Dengan cara simulasi yang sama dengan Gambar 7., dengan mengganti ukuran lubang pada 13.80 mm dan pin / poros pada 13.70 mm, posisi lubang tetap pada nominal ukurannya maka daerah penerimaan yang dapat dipasangkan / dirakit seperti ditunjukkan pada Gambar 13.





Gambar 13. Kondisi terpasang dengan optimasi toleransi

KESIMPULAN

Gambar kerja yang umumnya diterapkan pada industri lokal, sekolah kejuruan, dan perguruan tinggi di Indonesia adalah strategi linear yang berpotensi menimbulkan multi tafsir sehingga produk yang dihasilkan dari suatu proses manufaktur tidak sesuai yang diharapkan desainer tersebut. Dampak lanjutannya adalah keberfungsian dari produk yang dihasilkan menjadi besar variabilitasnya. Hal ini sangat tidak diinginkan oleh desainer. Ia ingin jangkauan variabel yang diijinkan adalah terkendali pada jangkauan tertentu. Strategi optimasi geometri dari kondisi material maksimum ini dianggap optimum untuk karena dengan metode ini, daerah penerimaan dari varian produk yang dihasilkan menjadi lebih lebar dibandingkan dengan cara membuat dimensi secara linear. Walaupun begitu, toleransi posisi 0 hasil optimasi akan menyulitkan pembuatan gauge dalam proses produksi sehingga metode strategi geometri dalam kondisi material maksimum dianggap lebih sesuai karena dapat mengakomodir keinginan desainer dan dari sisi manufakturing dikarenakan produk yang dihasilkan akan memiliki keterakitan yang tinggi dikarenakan adanya daerah penerimaan yang luas untuk produk pada kondisi material maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Drake, P., 1999. Dimension and Tolerancing Hand Book, Mc Graw Hill, New York, USA.
- Ficher, B.R. 2004. Mechanical Tolerance and Stack Up and Analysis, CRC Pers. New York USA.
- Huang, M. and Zhong, Y, 2008. Dimensional and geometrical tolerance balancing in concurrent design. *Int. Journal Advance Manufacturing Technology*. 35, 723-735.
- Hu, J. and Xiong, G, 2005. Dimensional and geometrical tolerance design based on constraint. *Int. Journal Advance Manufacturing Technology*. 26(9-10), 1099-1108.
- Salomons et.al. 1996. A Computer Aided tolerancing tool I: Tolerance Specification. *Computer in Industry*. 31. 161-174.
- Voelcker, H.B., 2002. Whiter Size in Geometric Tolerancing?. *Proc. Of ASPE Summer Tropical Meeting on Tolerance Modeling and Analysis*. ASPE Press, Raleigh, USA.
- Whitney, D.A., 2004. Mechanical Assemblies, Their Design, Manufacture, and Role in Product Development, Oxford University Press, New York, USA.

